



## Ölstandsmessung am digitalen Getriebe

Michael Wendenburg

### GETRAG FORD Transmissions simuliert die Befüllung mit dem NX-Modul SpaceFinder

In diesem Herbst bringt GETRAG FORD Transmissions eine neue Generation von Doppelkupplungsgetrieben auf den Markt, die ein automatisches Schalten ohne Unterbrechung des Kraftflusses ermöglichen.

In diesen Getrieben dient das Öl nicht nur als Schmiermittel, sondern sorgt auch für die hydraulische Steuerung. Ob der Ölfluss unter allen Einsatzbedingungen gewährleistet ist, können die Ingenieure schon am digitalen Getriebemodell untersuchen.

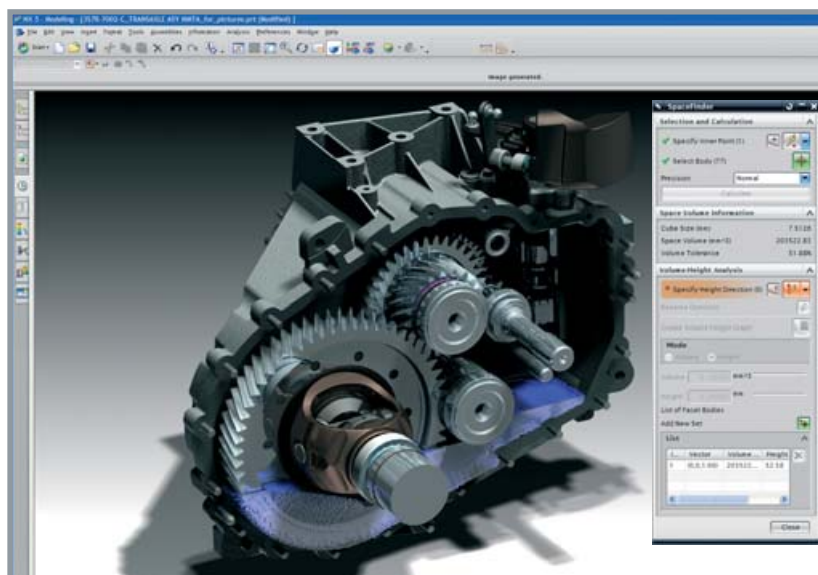
Doppelkupplungsgetriebe sind ein schönes Beispiel dafür, wie lange manche Innovationen brauchen, bis sie reif für den Markt sind. Patentiert ist die Direktschaltechnik seit 1940, aber erfolgreich eingesetzt wurde sie erst in den 80er Jahren im C-Gruppe Rennwagen Porsche 962 und später dann in der Rallyeversion Audi S1 mit Walter Röhrl am Steuer.

Ein Serieneinsatz scheiterte damals noch an den zu hohen Kosten. Erst Anfang dieses Jahrtausends griff VW das PDK-Getriebe (Porsche Doppel Kupplung) wieder auf und machte es serienfähig. Die Spezialisten von GETRAG FORD Transmissions bringen in die Entwicklung dieser Technologie nun ihre geballte Kompetenz in der Schalttechnik ein.

Im Verbund mit der GETRAG Corporate Group ist GETRAG FORD Transmissions der weltweit größte Hersteller von manuellen oder automatisierten Schaltgetrieben. Diese haben gegenüber traditionellen Automatikgetrieben den Vorteil, dass sie sich flexibler und mit weniger Entwicklungsaufwand an Gewicht und Motorleistung des Fahrzeugs anpassen lassen, wie Rüdiger Muth, Leiter CAD-Produktentwicklung, erläutert: „Wir können bei der Anpassung von einem Grundgetriebe ausgehen und brauchen nur die Verzahnung bzw. die Zahnpaarungen zu kalibrieren. Eine Automatik mit Planetenradsätzen muss dagegen stärker fahrzeugspezifisch ausgelegt werden.“

Die neuen Doppelkupplungsgetriebe von GETRAG FORD Transmissions kombinieren die Flexibilität des Schaltgetriebes mit den Vorzügen der Automatik. Man behält den mechanischen Aufbau mit den Stirnrädern bei und automatisiert den Schaltvorgang drum herum.

Im Unterschied zu automatisierten Handschaltgetrieben, wie sie bisher schon angeboten werden, geht bei Doppelkupplungsgetrieben der Kraftfluss beim Umschalten aber nicht verloren. Wie der Name andeutet, sind sie mit zwei separaten Radsätzen und Kupplungen ausgestattet, die elektronisch so synchronisiert werden, dass der eine Gang langsam aufmacht während der andere schon greift. „Man hat also immer eine kraftschlüssige Kupplung. Dadurch bietet die Schaltung den gleichen Komfort wie eine Vollautomatik, ist aber kostengünstiger, weil sie ohne Drehmomentwandler und Planetenräder auskommen“, erläutert Muth.





## Öl ist nicht nur Schmierstoff

Die größte Schwierigkeit bei der Entwicklung des Doppelkupplungsgetriebes ist die Unterbringung von zwei Kupplungen mit den hydraulischen und elektronischen Komponenten auf einem Bauraum, dessen Dimensionierung nicht größer als bei einem normalen Getriebe sein darf. „Um mit einer halb so großen Kupplung das maximale Drehmoment übertragen zu können, verwenden wir bei den leistungsstarken Motoren Nasskupplungssysteme, die in einem Ölbad laufen“, erläutert Muth. „Das Getriebeöl wird in den Doppelkupplungsgetrieben nicht nur für die Schmierung, sondern auch für die hydraulische Steuerung benötigt. Das bedeutet, dass der Ölfluss im komplexen Inneren unter allen Einsatzbedingungen gewährleistet sein muss.“



Die Ingenieure möchten zu einem möglichst frühen Zeitpunkt wissen, wie viel Öl sie ins Getriebe gießen müssen, um einen bestimmten Füllstand zu erreichen und wie sich dieser Füllstand bei Beschleunigung, Vollbremsung oder schnellen Kurvenfahrten verändert. Die Frage der Ölmenge ist keineswegs trivial, wie Ronald Engel, Spezialist für Pumpen und Schmierung Doppelkupplungsgetriebe bei GETRAG FORD Transmissions erläutert: „Die Finanzleute und die Spezialisten für den Wirkungsgrad möchten möglichst wenig Öl im Getriebe haben, die Verantwortlichen für die Dauerhaltbarkeit möglichst viel. Und wir wollen

nach Möglichkeit garantieren, dass der Kunde mit dem Getriebe 240.000 Kilometer ohne Service fahren kann. Das alles muss im Vorfeld kalkuliert werden, um die richtige Balance zu finden.“

Bislang füllen die Ingenieure mit dem Messbecher ein bestimmtes Ölvolumen in Prototypen, um den Ölstand zu ermitteln. Da läuft natürlich mancher Tropfen über. Noch aufwendiger sind die Untersuchungen des Füllstands unter Fahrbedingungen, denn man benötigt dafür einen Schwenkprüfstand und muss eigens ein transparentes Gehäuse herstellen lassen. Kostenpunkt circa 100.000 Euro. Mit dem Umstieg auf die 3D-Konstruktion kamen die Ingenieure auf die Idee, zumindest den statischen Teil dieser Untersuchungen schon am Rechnermodell und damit früher im Prozess zu erledigen. Eine naheliegende Idee, deren Umsetzung allerdings einige Umwege erforderte.

GETRAG FORD Transmissions setzt in der Produktentwicklung die Software UGS NX I-DEAS ein – in enger Anlehnung an die C3P-Systemumgebung von Automobilhersteller Ford, in dessen Netzwerk man nach wie vor integriert ist. Am Standort Köln gibt es eine Mannschaft von 23 CAD-Spezialisten, die für die bauteilverantwortlichen Ingenieure die Konstruktion erledigen. Seit Ende der 90er Jahre konstruieren sie neue Bauteile in 3D. Das erste Getriebe, das bis zur letzten Schraube vollständig modelliert wurde, war das 6-Gang-Getriebe 6 MTT450, das aktuell im Ford Mondeo bzw. Ford Focus mit 2-Liter-Dieselmotor eingebaut wird. Es war zugleich der Anstoß für die Suche nach einer Lösung zur digitalen Ölstandsmessung. →

Die GETRAG FORD Transmissions GmbH wurde 2001 als Gemeinschaftsunternehmen vom Automobilhersteller Ford und dem Getriebe-spezialisten GETRAG gegründet, mit dem Ziel die Stärken beider Partner in der Entwicklung und Produktion von Schaltgetrieben zu bündeln. Ford brachte in das Joint Venture seine drei Produktionswerke für manuelle Getriebe in Köln, Bordeaux und Halewood ein. Heute entwickelt und fertigt das Unternehmen manuelle und automatisierte Schaltgetriebe sowie Doppelkupplungsgetriebe für die gesamte Ford-Familie und für andere OEMs wie Chrysler oder den chinesischen Hersteller Changan. Um ihre Marktposition zu stärken, haben sich GETRAG FORD Transmissions und GETRAG Mitte 2006 entschlossen, ihre Kompetenzen unter dem Dach der GETRAG Corporate Group und der Marke GETRAG zu vereinen.

GETRAG FORD Transmissions hat seinen Firmensitz in Köln, wo auch die Produktentwicklung angesiedelt ist. Darüber hinaus gibt es ein kleines Entwicklungsteam im schwedischen Göteborg, welches das Unternehmen 2004 von Volvo übernommen hat. Neben den früheren Ford-Produktionsstätten in Köln, Bordeaux und im britischen Halewood baut das Unternehmen gerade ein neues Werk in Kechnec in der Slowakei auf, das Mitte dieses Jahres die Produktion der neuen Doppelkupplungsgetriebe aufnehmen soll. Im letzten Geschäftsjahr erwirtschaftete die Firma einen Umsatz von über einer Milliarde Euro. Derzeit beschäftigt sie 4.240 Mitarbeiter, ohne die 2.300 Mitarbeiter der GETRAG (Jiangxi) Transmission Co. Ltd. zu berücksichtigen – ein Joint Venture zwischen der GETRAG Corporate Group und der chinesischen Jiangling Motors Company Group.

[www.getrag.de](http://www.getrag.de)



### Mathematische Befüllungssimulation

In der Motorenentwicklung bei Ford gab es für die Ölstandsermittlung damals schon ein Werkzeug, das aber für die Getriebeentwicklung nicht geeignet war, weil ein Getriebe im Unterschied zur Ölwanne eines Motors aus Hunderten von Einzelteilen besteht. Die Baugruppen mussten erst aufwendig vereinfacht und die Teile miteinander verschmolzen werden, um das eingeschlossene Volumen berechnen zu können – ein Vorgang, der bis zu vier Wochen Zeit in Anspruch nahm. Hauptursache dafür war, dass es viele Geometrien gab, die mathematisch nicht geschlossen waren – zum Beispiel Wellendichtringe, die mit einem Dichtspalt modelliert werden, oder aber auch importierte Daten von Zulieferteilen.

Die Suche nach anderen kommerziellen Software-Produkten brachte auch keinen Erfolg. Daraufhin bot sich UGS PLM Software an, für die Firma auf der Basis der Software UGS NX eine integrierte CAD-Lösung zu entwickeln, mit der man Volumina berechnen kann, die von mehreren Einzelteilen umschlossen sind. Die Software, die inzwischen unter dem Namen SpaceFinder als Funktion in NX kommerziell verfügbar ist, macht eine Art mathematische Befüllungssimulation. Sie eignet sich damit nicht nur für die digitale Ölstandsmessung, sondern grundsätzlich für alle Anwendungen, in denen es darum geht, komplexe Bauräume zu berechnen, die von unterschiedlichen Einzelteilen umschlossen sind. Das kann zum Beispiel die Berechnung des Kofferrauminhalts sein oder aber eine Bauraumuntersuchung mit Modellen aus unterschiedlichen CAD-Systemen,

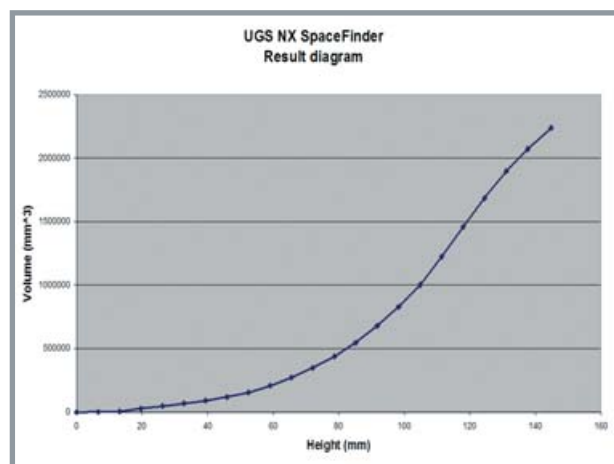
also überall da, wo Bauräume analysiert werden sollen, die mathematisch nicht wirklich geschlossen sind, was in der realen Anwendung häufig vorkommt.

Ausgehend von einem Punkt innerhalb des zu berechnenden Bauraums, den der Anwender vorgibt, füllt ein Software-Algorithmus den Raum mit einheitlichen Würfelchen aus. Immer wenn ein solcher Voxel oder Volumen Pixel an eine Fläche oder an einen Körper der Umgebungsgeometrie stößt, wird die Ausdehnung des Voxel-Netzes in diese Richtung gestoppt. Die anstoßenden Würfelchen werden speziell gewichtet, um die Genauigkeit weiter zu erhöhen. Je kleiner die Würfelchen, desto geringer ist die Abweichung vom tatsächlichen Volumen.

Die Berechnung des Füllstands ist eine Sache von wenigen Sekunden. Etwas länger dauert es derzeit, das Zusammenbaumodell von allen Teilen zu befreien, die für die Berechnung nicht relevant sind, und den Rest dann in das Datenformat von NX zu konvertieren. Wobei die Bereinigung eigentlich nicht nötig ist, wenn man ausreichend leistungsfähige Rechner hat, bzw. direkt mit NX arbeitet: „Unser Ziel ist es, dass der Anwender gar nichts vorbereiten muss, sondern einfach seine Baugruppe nimmt und den Füllstand berechnen lässt“, so Engel. Die Konvertierung funktioniert dank der verfügbaren Direktschnittstellen zwischen I-DEAS und NX ohnehin reibungslos.

### Frühzeitige Absicherung der Konstruktion

Als Ergebnis der Befüllungssimulation erhält der Anwender ein Voxelmodell des 'gefrorenen' Öls, das als Grundlage für die weitere Auswertung dient. „Ich gebe zum Beispiel einen Ölstand vor, den ich für den optimalen Betrieb des Getriebes benötige, und lasse mir das entsprechende Volumen





ausgeben“, sagt Engel. „Diese Optimierung beinhaltet ein Mindestlevel zur Schmierung und ein Maximum, das durch den Preis und den Wirkungsgrad diktiert wird. Wenn alle Zahnräder im Öl verschwinden, dann kommen wir mit dem Auto nämlich nicht mehr vorwärts.“

SpaceFinder berechnet nicht nur den Füllstand, sondern stellt auch den Zusammenhang zwischen Volumen und Füllstand in Form eines Graphen dar. Ideal ist ein möglichst linearer Verlauf – Stufen signalisieren tote Räume im Getriebe, die unnötig viel Öl aufnehmen. Die Anwender können sich dann das als etwas stufig wirkende Befüllungsmodell genauer anschauen und gegebenenfalls Schnitte durch das 'gefrorene' Öl legen, um die Lage der toten Räume zu identifizieren und durch konstruktive Änderungen an der Gehäusegeometrie zu beseitigen. Um festzustellen, wie sich der Füllstand bei Beschleunigung oder Kurvenfahrt verhält, rechnen die Anwender die Beschleunigungskräfte in entsprechende Winkel um – 1 G entspricht beispielsweise 45 Grad – und bringen das Voxellmodell des Öls in die entsprechende Schräglage.

Das Modell selbst muss dafür nicht neu berechnet werden. Auch wenn der Anwender von Volumen zum Füllstand wechseln möchte, bedarf es keiner neuen Berechnung.

Es handelt sich um eine rein statische Analyse des Füllstands, die beispielsweise nicht berücksichtigt, wie viel Öl bei einer bestimmten Drehzahl im Getriebe im Umlauf ist.

Sie erlaubt es aber, bestimmte Fragen zu einem frühen Entwicklungszeitpunkt am Rechnermodell zu klären und dadurch Fehler zu vermeiden, deren Beseitigung zu einem späteren Zeitpunkt kostspielige Änderungen nach sich ziehen würden.

### Reif für den produktiven Einsatz

Die Ergebnisse der digitalen Ölstandsmessung sind ausreichend genau, wie die Tests gezeigt haben. Während die Programmierer mit der Software die Füllstände verschiedener Getriebe berechneten, machte Ronald Engel parallel dazu die Füllstudien am realen Modell, um die Messergebnisse mit den Ergebnissen aus der Simulation zu vergleichen: Die Abweichung lag bei weniger als einem Zehnteliter und damit deutlich unter der vorgegebenen Toleranz: „Ich habe der Software erst nicht glauben wollen. Die Stichproben am Prüfstand haben mich jedoch überzeugt, dass wir den Voraussagen trauen können“, sagt Engel. Damit steht ihrem produktiven Einsatz nichts mehr im Wege.

GETRAG FORD Transmissions will zunächst einen Arbeitsplatz der CAD-Abteilung mit der Software NX und dem neuen SpaceFinder-Modul ausstatten. Es handelt sich um eine Insellösung, die noch nicht in die bestehende CAD- und PDM-Landschaft eingebunden ist. Das hängt damit zusammen, dass sich diese Landschaft im Umbruch befindet: Die C3P-Datenmanagement-Umgebung, bestehend aus mehreren dezentralen TDM-Systemen, soll ab dem dritten Quartal schrittweise durch ein zentrales PDM-Backbone auf Basis der UGS-Software Teamcenter abgelöst werden. Das wäre dann auch die ideale Plattform für die Einbindung von SpaceFinder in den Entwicklungsprozess, wie Rüdiger Muth betont.

Durch den Einsatz des neuen CAE-Werkzeugs lassen sich nach Überzeugung von Ronald Engel viele Messungen am realen Getriebe einsparen, die mit einem großen Zeit- und Personalaufwand verbunden sind, von der langen Vorlaufzeit für die Herstellung eines physikalischen Prototypen ganz zu schweigen: „Für die Grundvermessung eines Getriebes benötigen wir im Labor mindestens eine Woche. Es sind Menschen am Werk und deshalb muss mehrfach gemessen werden, um Fehler statistisch in den Griff zu bekommen. Und wenn sich dann im Laufe der Entwicklung signifikante geometrische Größen wie der Durchmesser der Zahnräder ändern, müssen die Messergebnisse noch einmal überprüft werden. Ich stelle mir vor, dass wir das künftig alles schneller und sauberer am CAD-System vor der Erstellung von Prototypen ermitteln können.“ ■■

**SYHAG** CAE-TOOLS GmbH

Ihr CAE Partner für:

**UGS FEMAP 9.3.1!**

ist das führende Engineering- und Simulationswerkzeug

**UGS NX 5.0!**  
NASTRAN

FEM High-End-Solver für das Computer-Aided-Engineering (CAE)



**QUICK design** for FEMAP

Schnelle Modellaufbereitung und Berechnung eines Bauteils

**winLIFE**

Lebensdauerberechnung dynamisch belasteter Bauteile

**Support**

Für alle Produkte durch die SYHAG CAE-TOOLS GmbH

**FEM - Schulung**

FEMAP und NX Nastran  
NX Nastran Advanced Nonlinear  
NX Nastran Spezial  
FEM Grundlagen

**CAE - Dienstleistung**

Festigkeits-, Strömungs- und Wärme-transportanalysen, Modellierung und Berechnung

+++Aktuelle Infos unter:+++Aktuelle Infos unter:+++

**www.syhag.de**

Postfach 200 990  
45844 Gelsenkirchen  
Tel. : +49-(0)209 / 61 07 34  
Fax : +49-(0)209 / 61 07 35  
info@syhag.de

Zertifizierter Reseller  
von UGS PLM Software